

Pemantauan dan Peringatan Dini Kekeringan Pertanian di Indonesia

Monitoring and Early Warning of Agricultural Drought in Indonesia

Elza Surmaini

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1, Cimanggu, Bogor 16111. Email: elzasurmaini@gmail.com

Diterima 3 Mei 2016; Direview 10 Mei 2016; Disetujui dimuat 27 Juni 2016

Abstrak: Kekeringan pertanian merupakan bencana alam yang sangat kompleks dan mempengaruhi daerah yang luas. Di Indonesia kejadian kekeringan terjadi hampir setiap tahun dan meningkat tajam pada kondisi El Niño yang menyebabkan penurunan produksi pertanian yang signifikan. Namun, sampai saat ini sistem pemantauan, peringatan dini dan diseminasi kekeringan yang komprehensif dan terintegrasi belum tersedia. Pemantauan kekeringan telah dilakukan dan dilaporkan oleh lembaga terkait seperti LAPAN dan BMKG, sedangkan pemantauan kekeringan pertanian dilakukan oleh Kementerian Pertanian. Dalam membangun sistem peringatan dini kekeringan pertanian, pemantauan saja belum memadai karena diperlukan komponen prediksi dan antisipasi dampaknya. Sampai saat ini prediksi kekeringan pertanian yang operasional untuk wilayah Indonesia belum tersedia. Balitbangtan sedang mengembangkan sistem prediksi bencana kekeringan dan banjir pada tanaman padi, namun belum operasional. Sistem peringatan dini kekeringan pertanian sangat diperlukan untuk menurunkan kehilangan produksi pangan. Tulisan ini memaparkan tentang berbagai definisi, indeks dan karakteristik kekeringan, pemantauan kekeringan, perkembangan terbaru mengenai deteksi dini kekeringan pertanian, dan pendekatan yang diperlukan dalam membangun sistem peringatan dini kekeringan pertanian di Indonesia. Informasi dan isu yang disampaikan pada tulisan ini dapat mendorong pengambil kebijakan untuk mengembangkan dan sistem pemantauan dan peringatan dini untuk mengatasi dampak kekeringan lebih efektif.

Kata kunci: Pertanian / Kekeringan / Pemantauan / Prediksi / Peringatan Dini

Abstract: Agricultural drought is the most complex natural hazard and affects large areas then causes significant drops in food production. In Indonesia, paddy field drought occurs almost every year and extends during El Niño phenomena with severe consequences for agricultural production in Indonesia. However, up to now, a comprehensive, integrated drought monitoring, early warning and delivery system did not exist. Drought monitoring has already conducted and reported by the relevant agencies namely BMKG and LAPAN, while agricultural drought monitoring is conducted by Ministry of Agriculture. For developing agricultural drought early warning systems, beside of monitoring components of prediction impact model on agriculture are also important. Currently, operational prediction of agricultural drought in Indonesia is not yet available. Balitbangtan is developing agricultural drought prediction for rice, but is not yet operational. If an effective early warning system for monitoring and predicting agricultural drought can be conducted and developed, decline in food crop production can be minimized. Information from issue presented in this article will help policy maker and planner to develop or improve drought monitoring and early warning system to tackle drought impact more effectively.

Keywords: Agriculture / Drought / Monitoring / Prediction / Early Warning

PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan kejadian bencana alam yang diakibatkan oleh defisit curah hujan dalam periode waktu tertentu yang menyebabkan tidak cukupnya ketersediaan air untuk kegiatan manusia dan lingkungan. Sepanjang sejarah kehidupan manusia, kekeringan merupakan masalah yang sangat berpengaruh terhadap ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat di berbagai belahan dunia. Dari semua sektor, pertanian adalah sektor yang paling parah terdampak kekeringan, karena

hubungan yang signifikan cuaca/iklim dan tanaman. Kondisi defisit curah hujan dalam periode yang singkat mendorong manusia untuk menemukan tanaman pangan alternatif yang lebih toleran terhadap kekeringan. Bahkan kekeringan yang berlangsung lama dan parah telah menyebabkan manusia berpindah ke daerah lain (WMO 2006). Kekeringan merupakan kejadian normal iklim, walaupun luas dan tingkat keparahannya berbeda dalam skala musim dan tahunan. Di banyak negara seperti Australia, China, India dan Amerika Serikat, kekeringan terjadi di beberapa bagian wilayah setiap tahun.

Menurut Hansen *et al.* (2006), intensitas dan frekuensi kejadian iklim ekstrim akibat suhu udara global yang terus meningkat. Hal yang sama dinyatakan dalam laporan *Assessment Report 5* (IPCC 2013) yang menyimpulkan bahwa meningkatnya intensitas, frekuensi dan durasi dan kejadian kekeringan (*likely*) pada masa yang akan datang. Data historis menunjukkan bahwa frekuensi kejadian kekeringan antara tahun 1844 dan 1960 terjadi setiap 3-4 tahun, dan antara tahun 1961 dan 2006 meningkat menjadi setiap 2-3 tahun (Boer dan Subbiah 2005; Boer *et al.* 2007). Lebih dari 75% kekeringan tersebut berasosiasi dengan El Niño (Boer dan Subbiah 2005). Menurut Aldrian dan Djamil (2008) di DAS Brantas terutama di daerah yang dekat pantai, selama 50 puluh tahun terakhir lama bulan ekstrim kering meningkat menjadi 4 bulan bahkan pada tahun 2002 jumlah bulan kering mencapai 8 bulan. Pada wilayah pegunungan, lama bulan kering hanya 1-2 bulan dan maksimum hanya 4 bulan.

Kejadian kekeringan yang disebabkan oleh penurunan jumlah curah hujan, dan meningkat hari tanpa hujan berdampak terhadap produksi tanaman. Hasil kajian IPCC menyatakan bahwa produksi pangan terutama padi, jagung, dan kedelai dalam beberapa dekade terakhir mengalami penurunan akibat meningkatnya frekuensi kejadian El Niño dan berkurangnya jumlah hari hujan (Bates *et al.* 2008). Di Indonesia, dilaporkan bahwa telah terjadi peningkatan tanaman yang terkena kekeringan dan puso akibat kejadian El Niño. Data dari Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan menunjukkan bahwa pada kejadian El Niño kuat tahun 1997 dan 2015, tanaman padi yang terkena kekeringan masing masing seluas 513 ribu ha dan 597 ribu ha. Sedangkan pada kejadian El Niño dengan intensitas lemah sampai sedang tahun 1991, 1994, dan 2003, luas kekeringan adalah berturut-turut 870 ribu ha, 539 ribu ha, dan 538 ribu ha (Surmaini *et al.* 2015).

Frekuensi dan dampak kekeringan yang cukup signifikan pada sektor pertanian, memerlukan penanganan agar dampaknya dapat diminimalkan. Oleh karena itu, sistem informasi seperti pemetaan wilayah rawan, pemantauan dan prediksi kekeringan menjadi faktor yang sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan pertanian. Kajian mengenai pemetaan kekeringan dan dampaknya telah banyak dilakukan oleh para peneliti dan pakar dibidangnya. Begitu pula pemantauan juga dilakukan oleh beberapa instansi sesuai dengan tugas dan fungsinya. Namun demikian, pemantauan kekeringan saja tidak cukup karena untuk upaya adaptasi diperlukan sistem peringatan dini kekeringan pertanian. Sistem peringatan dini kekeringan

an terdiri atas empat komponen yaitu i) deteksi, pemantauan, dan prediksi bencana, ii) analisis wilayah risiko, iii) diseminasi informasi yang tepat waktu, dan iv) persiapan aksi untuk penanganan dampak. Untuk wilayah Indonesia, komponen tersebut sebagian telah dibangun, namun perlu diintegrasikan dalam sistem peringatan dini yang operasional. Informasi dari sistem peringatan dini menjadi tolok ukur dalam mempersiapkan strategi adaptasi yang operasional untuk menekan risiko kehilangan hasil akibat dampak perubahan iklim.

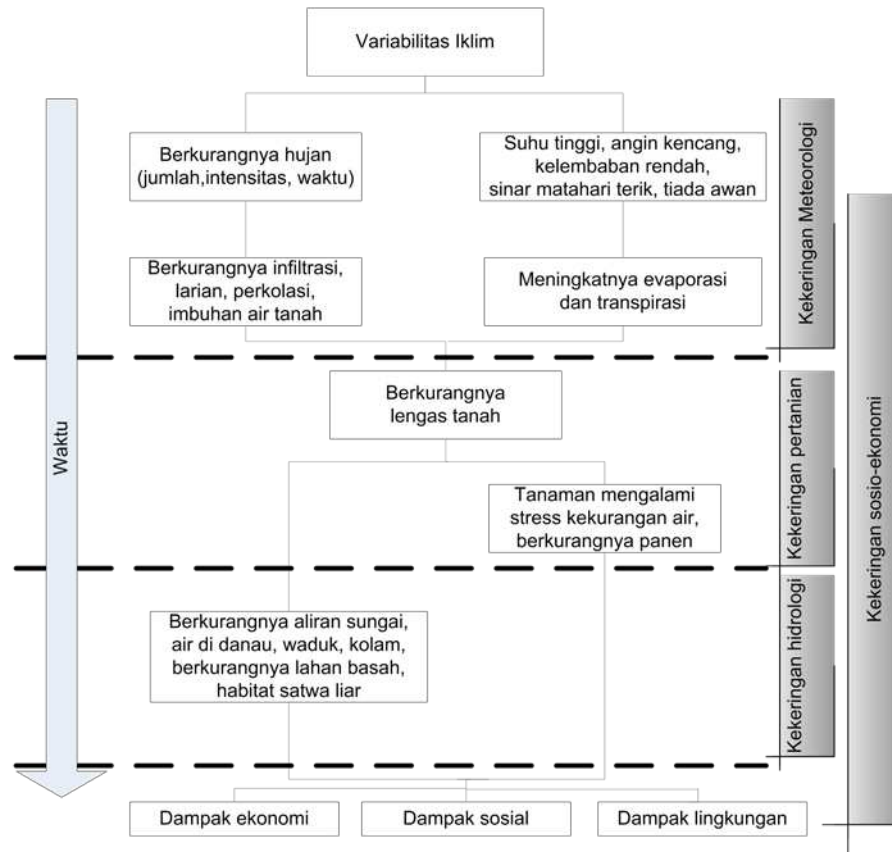
Tulisan ini memaparkan tentang berbagai definisi, indeks dan karakteristik kekeringan, pemantauan kekeringan, dan perkembangan terbaru mengenai deteksi dini kekeringan, serta pendekatan yang diperlukan dalam membangun sistem peringatan dini kekeringan pertanian di Indonesia.

KARAKTERISTIK DAN INDIKATOR KEKERINGAN

Definisi Kekeringan

Definisi kekeringan sangat beragam dan belum ada kesepakatan para pakar mengenai definisi yang digunakan. Beragamnya definisi tersebut terjadi karena perbedaan parameter hidrometeorologi, faktor sosial ekonomi dan juga perbedaan kebutuhan dan permintaan di berbagai belahan dunia yang menjadi kendala untuk mencapai kesepakatan dalam mendefinisikan kekeringan (Mishra dan Singh 2010). Beberapa definisi yang umum digunakan antara lain oleh Linsely *et al.* (1959) yaitu suatu periode tanpa jumlah curah hujan yang signifikan. Palmer (1965) menggambarkan kekeringan sebagai kondisi penyimpangan dari kondisi normal hidrologis suatu wilayah. WMO (1986) mendefinisikan kekeringan sebagai defisit curah hujan yang berkepanjangan. Menurut *The UN Convention to Combat Drought and Desertification* (UN Secretariat General 1994) kekeringan adalah fenomena kejadian alam karena kondisi curah hujan di bawah normal yang menyebabkan ketidakseimbangan hidrologi yang serius sehingga mempengaruhi sistem produksi sumberdaya lahan. Schneider (1996) mendefinisikan kekeringan sebagai sebuah periode panjang (satu musim, satu tahun atau beberapa tahun) dimana terjadi defisit curah hujan di suatu wilayah dibandingkan rata-rata tahunannya.

Di Indonesia, kekeringan merupakan salah satu bencana yang memiliki dampak yang besar dan salah satu penyebab kegagalan pada produksi tanaman pangan. Definisi kekeringan menurut pakar di Indonesia juga belum banyak, karena umumnya definisi yang



Sumber: WMO 2006 dalam Hatmoko (2015)

Gambar 1. Mekanisme terjadinya kekeringan meteorologi, hidrologi, pertanian, dan sosial ekonomi

Figure 1. Mechanism of meteorology, hydrology, agricultural, and socio-economic drought

digunakan umumnya menyitir kepada para pakar yang diuraikan diatas. Selain itu, definisi kekeringan terdapat dalam Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Menurut UU tersebut kekeringan merupakan salah satu bencana alam yang disebabkan ketersediaan air yang jauh dibawah kebutuhan, baik untuk kebutuhan hidup, pertanian, kegiatan ekonomi, dan lingkungan. Selanjutnya dinyatakan kekeringan di bidang pertanian adalah kekeringan yang terjadi di lahan pertanian yang ada tanaman (padi, jagung, kedelai, dan lain-lain) yang sedang dibudidayakan.

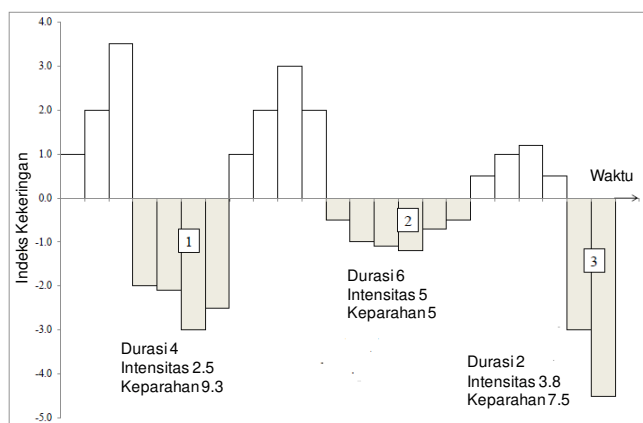
Walaupun definisi kekeringan sangat beragam, kekeringan umumnya dikelompokkan dalam 4 kategori oleh Wilhite dan Glantz (1985) dan *American Meteorological Society* (2004) yaitu kekeringan meteorologis, hidrologis, pertanian dan sosial ekonomis. Kekeringan meteorologis adalah kekurangan curah hujan di suatu wilayah pada periode tertentu. Kekeringan hidrologis adalah suatu periode dengan ketidakcukupan sumberdaya air permukaan dan bawah permukaan untuk memenuhi ketersediaan air dalam suatu sistem pengelolaan sumberdaya air.

Kekeringan hidrologis terjadi akibat kekeringan meteorologis yang panjang yang menyebabkan defisit air permukaan dan air tanah di suatu wilayah. Kekeringan pertanian adalah suatu periode dimana terjadi penurunan kelembaban tanah yang menyebabkan kegagalan tanaman tanpa memperhitungkan sumberdaya air permukaan. Kekeringan sosial ekonomis terjadi jika permintaan terhadap barang bernilai ekonomi melebihi ketersediaannya akibat kekurangan suplai air karena kondisi cuaca/iklim. WMO (2006) dalam Hatmoko (2015) menggambarkan perbedaan dan keterkaitan antara ke empat jenis kekeringan tersebut pada Gambar 1.

Karakteristik Kekeringan

Kekeringan merupakan urutan pertama dari semua kejadian bencana alam jika dilihat dari sisi jumlah korban yang terdampak (Hewitt 1997, Wilhite 2000b). Menurut Wilhite (2000a), ada beberapa hal yang menyebabkan karakteristik kekeringan berbeda dengan bencana alam lain. Pertama, awal dan akhir

dari sebuah kejadian kekeringan sulit ditentukan, dampaknya meningkat secara perlahan, terakumulasi dalam waktu yang cukup lama, dan masih terasa setelah kekeringan tersebut berhenti atau dikenal dengan istilah *creeping phenomenon*. Kedua, dampak kekeringan tidak terstruktur dan terjadi pada wilayah yang sangat luas dibanding dampak bencana alam lainnya seperti banjir, siklon, gempa bumi, dan tsunami. Oleh karena itu, kuantifikasi dampak dan mekanisme distribusi bantuan lebih sulit dibanding bencana lainnya. Ketiga, aktivitas manusia dapat secara langsung menjadi pemicu yang memperparah kejadian kekeringan seperti praktik pertanian dan irigasi yang berlebihan, deforestasi, eksploitasi air dan erosi akan menyebabkan menurunnya kemampuan lahan memegang air.



Sumber: Hatmoko *et al.* (2015)

Gambar 2. Aplikasi *The Run Theory* dalam menentukan karakteristik kekeringan

Figure 2. *The Run Theory application for determining drought characteristics*

Pemahaman bagaimana kekeringan mulai terjadi, berevolusi, meluas dan berdampak terhadap lingkungannya sangat penting dalam melakukan upaya untuk memitigasi dampaknya. Yevjevich (1967) mengemukakan teori untuk mengidentifikasi kekeringan dan menentukan karakteristiknya secara statistik yaitu intensitas, durasi, dan tingkat keparahan (*severity*). Intensitas menggambarkan tingkat defisit curah hujan pada periode tertentu. Durasi adalah periode dimana parameter kekeringan selalu berada di bawah nilai kritisnya. Tingkat keparahan merupakan akumulasi kejadian kekeringan yang dihitung dari awal terjadinya kondisi dibawah normal sampai berakhir. Kekeringan dapat berkembang cepat pada beberapa wilayah, namun biasanya memerlukan

waktu 2-3 bulan sebelum stabil dan dapat berlangsung dalam beberapa bulan bahkan setahun.

Indeks Kekeringan Pertanian

Indeks kekeringan merupakan suatu perangkat utama untuk mendeteksi, memantau, dan mengevaluasi kejadian kekeringan. Kekeringan memiliki karakter multi-disiplin yang membuat tidak adanya sebuah definisi yang disepakati oleh semua pihak di dunia, sehingga tidak ada sebuah indeks kekeringan yang berlaku universal. Indeks kekeringan dari perspektif pengguna akhir pada umumnya menggambarkan kondisi yang mudah diamati atau dirasakan dampaknya di lapangan. Sebagai contoh, kekeringan pertanian dipahami sebagai gejala kekurangan air pada tanaman pertanian yang dapat pulih ataupun tidak dapat pulih. Tanaman padi yang mengalami puso adalah salah satu contoh konkrit dari kekeringan pertanian yang mudah dipahami masyarakat pertanian dan dapat digunakan untuk pengambilan keputusan di sektor pertanian (Adiningsih 2014).

Untuk mengukur dampak kekeringan pertanian beberapa indeks telah dikembangkan menggunakan data curah hujan, suhu dan kelembaban tanah. Beberapa indeks yang telah banyak digunakan antara lain *Soil Moisture Anomaly Index* (Bergman *et al.* 1988), *Palmer Moisture Anomaly Index* atau *Z index*, *Crop Moisture Index* (CMI; Palmer 1968), dan *Crop-Specific Drought Index*-CSDI dan *Soybean Drought Index* -SDI (Meyer dan Hubbard 1995); *Corn Drought Index* (Meyer dan Pulliam 1992). Indeks kekeringan pertanian seperti CMI dan CSDI memerlukan data yang lebih lengkap seperti data iklim, tanah, dan fenologi tanaman. Namun untuk aplikasinya di wilayah Indonesia ketersediaan data iklim yang lengkap merupakan kendala utama dalam menggunakan indeks tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut, Surmaini *et al.* (2015) mengembangkan Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) dengan menggunakan data observasi kekeringan tanaman. IDKP yang merupakan rasio antara luas kekeringan padi dengan luas tanam padi. Indeks ini dapat menggambarkan kekeringan padi secara proporsional tanpa menggunakan data meteorologi dan mudah dipahami oleh non-akademisi dan pelaksana lapang.

Selain indeks tersebut, indeks kekeringan meteorologis dan hidrologis juga banyak digunakan untuk mengukur kekeringan pertanian. Indeks yang paling banyak digunakan adalah *Standardized Precipitation Index* (SPI), *the Palmer Drought Severity Index* (PDSI). Mc Kee (1993) menyatakan bahwa SPI dapat digunakan untuk membandingkan intensitas kekeringan

antar skala ruang dan waktu jauh lebih baik daripada anomali curah hujan. Mishra dan Desai (2005b) dan Mishra *et al.* (2008) mengembangkan model hubungan kuantitatif antara tingkat keparahan, luas dan frekuensi kekeringan menggunakan nilai SPI berbagai skala waktu pada wilayah DAS Kansabati di India. Vicente-Serrano (2006) menganalisis pola spasial kekeringan pada berbagai skala waktu menggunakan PDSI sebagai indikator tingkat keparahan kekeringan di Daerah Aliran Sungai Conchos di Mexico. Kim *et al.* (2002) mengembangkan kurva intensitas-luas-frekuensi untuk menganalisis tingkat keparahan kekeringan regional. Soule (1992) menguji pola frekuensi dan durasi kekeringan di wilayah Amerika menggunakan PDSI, indeks anomali kelembaban, dan indeks kekeringan hidrologi. Beberapa indeks tersebut telah digunakan secara luas untuk memonitor kekeringan di berbagai negara.

Selain data observasi, data yang banyak digunakan untuk menghitung indeks kekeringan pertanian adalah data satelit penginderaan jauh. Data satelit yang digunakan antara lain data *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) yang memiliki resolusi temporal tinggi (harian) dan resolusi spasial menengah (250–500 m) dapat memantau perubahan-perubahan yang terjadi selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi. Selain itu juga digunakan data satelit penginderaan jauh resolusi tinggi seperti Landsat 7 ETM+, SPOT, *Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radio-meter* (ASTER), dan *Advanced Land Observing Satellite Data* (ALOS) yang mempunyai resolusi spasial hingga 10 m dan sensor yang sensitif terhadap perubahan kondisi air, vegetasi dan tanah (Zubaidah *et al.* 2014).

Pemantauan kekeringan yang diturunkan dari data satelit pada prinsipnya menggunakan informasi tingkat kehijauan vegetasi. Dari tingkat kehijauan vegetasi ini kemudian dikembangkan berbagai indeks kekeringan antara lain *Normalized Difference Vegetation Index*-NDVI (Rouse *et al.* 1973; Tucker 1979), *Enhanced Vegetation Index*-EVI (Huete *et al.* 2002), *The Vegetation Condition Index*-VCI (Kogan 1990), *Temperature Condition Index*-TCI (Kogan 1995), *Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*-MSAVI (Qi *et al.* 1994), *Perpendicular Vegetation Index*-PVI (Casanova *et al.* 1998), *Adjusted Normalized Difference Vegetation Index* (ANDVI) (Liu *et al.* 2008), dan *Temperature Vegetation Dryness Index*-TVDI (Sandholt *et al.* 2012), *Vegetation Health Index*-VHI (Kogan 1995), dan *Vegetation Drought Response Index*-VegDRI (Brown *et al.* 2008; Tadesse *et al.* 2015). Penggunaan indeks vegetasi sebagai indikator kekeringan dapat diterapkan dengan ketelitian cukup baik pada keadaan lahan tertutup oleh vegetasi.

PEMANTAUAN KEKERINGAN WILAYAH INDONESIA

Salah satu komponen penting dalam pengelolaan risiko kekeringan adalah pemantauan dan deteksi dini kekeringan. Pengelolaan risiko kekeringan bertujuan untuk meningkatkan kapasitas adaptasi masyarakat, membangun resiliensi dan mengurangi ketergantungan kepada pemerintah atau lembaga donor melalui bantuan informasi bencana. Pemantauan kekeringan bertujuan untuk mendapatkan kondisi spasial dan temporal yang terkini. Kondisi spasial kekeringan tidak dapat diidentifikasi dengan baik, kecuali tersedia stasiun pengamatan meteorologi yang terdistribusi merata dengan kerapatan yang tinggi di seluruh wilayah. Bahkan selanjutnya diperlukan waktu dan biaya yang memadai untuk pengolahan dan koreksi data untuk menghasilkan informasi yang akurat dan dapat dipercaya. Oleh karena itu, pemantauan kekeringan yang berbasis informasi penginderaan jauh menjadi populer dan banyak digunakan karena biaya yang lebih murah, ketersediaan data yang kontinu dan kehandalan data (*reliability*) yang tinggi.

Informasi kekeringan dalam bentuk spasial dan temporal dengan menggunakan berbagai indeks untuk wilayah Indonesia sudah dilakukan oleh beberapa lembaga nasional maupun internasional. Di Indonesia lembaga yang memantau dan menyediakan peta terkini terkait kekeringan meteorologis adalah Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Pemantauan kekeringan pertanian pada lahan sawah dilakukan oleh Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN). Beberapa lembaga internasional juga memonitor dan memberikan informasi kekeringan untuk berbagai negara di dunia, termasuk Indonesia melalui *Foreign Agriculture Service* (FAS).

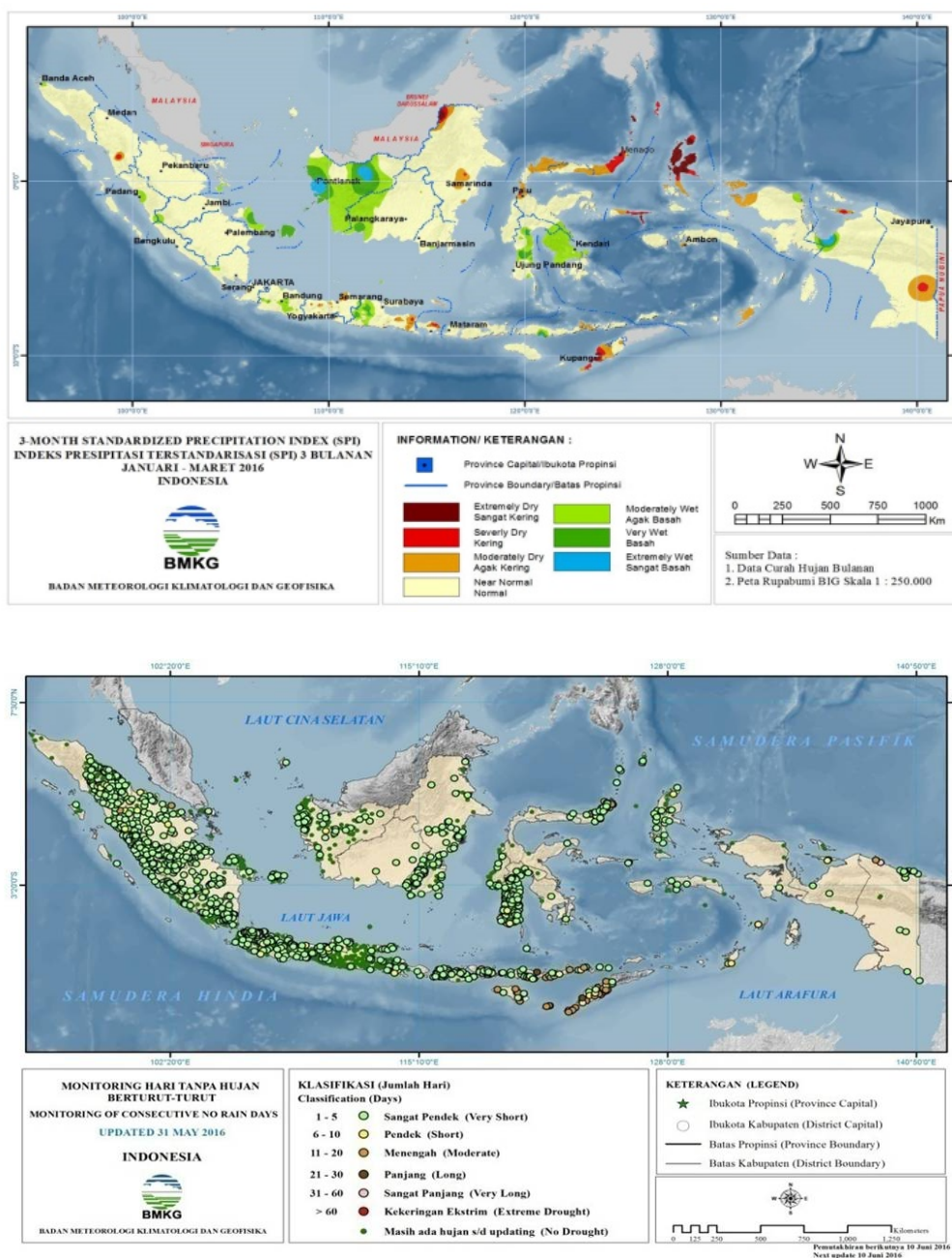
Pemantauan Kekeringan Operasional

Lembaga yang mempunyai otoritas dalam memberikan informasi iklim dan cuaca di Indonesia adalah BMKG. Informasi kekeringan yang dikeluarkan oleh BMKG adalah kekeringan meteorologis menggunakan metode SPI. SPI merupakan indeks yang direkomendasikan oleh *World Meteorology Organization* (WMO) sebagai indikator untuk menggambarkan kondisi tingkat kebasahan maupun kekeringan suatu wilayah. SPI dihitung berdasarkan peluang dari curah hujan, nilai negatif menggambarkan kekeringan dan nilai positif untuk kondisi basah. SPI dapat digunakan untuk memonitor kondisi iklim dalam skala bulanan, tiga bulanan dan musiman.

BMKG secara rutin memberikan informasi pemantauan kekeringan dalam bentuk SPI dengan skala waktu satu bulan, persentasi kelembaban tanah bulanan, dan hari tanpa hujan dan untuk wilayah Indonesia. Informasi tersebut tersedia dalam bentuk peta Indonesia atau peta per pulau dan diperbarui setiap bulan. Peta dan informasi terkait kekeringan, awal musim, kejadian iklim ekstrim dapat diakses melalui alamat <http://cews.bmkg.go.id/>. Sebagai

contoh, peta monitor SPI dan deret hari kering berturut-turut wilayah Indonesia untuk bulan Juni 2016 disajikan pada Gambar 3.

Selain lembaga nasional, beberapa lembaga internasional memberikan informasi kekeringan adalah *United States Department of Agriculture-USDA* (Departemen Pertanian, Amerika Serikat). Informasi tersebut tersedia global dan regional, misalnya untuk Asia tersedia untuk Asia Tenggara, China, Asia



Sumber : <http://cews.bmkg.go.id> diakses 9 Juni 2016

Gambar 3. Peta monitor kekeringan menggunakan SPI (atas) dan peta deret hari kering berturut-turut (bawah)

Figure 3. Map of drought monitoring using SPI (above) and map of dry spell (below)

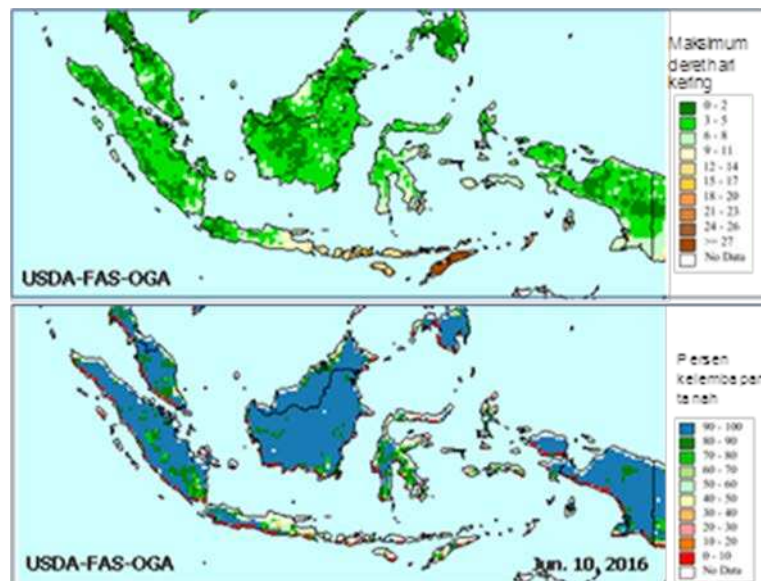
Tengah dan Korea. Informasi kekeringan tersedia dalam berbagai bentuk seperti SPI, deret hari kering berturut-turut, kelembaban tanah, anomali evapotranspirasi, anomali curah hujan, suhu udara, dan suhu udara ekstrim, dan beberapa informasi lainnya. Informasi tersebut diperbaharui setiap 10 hari sekali. Sebagai contoh, peta maksimum deret hari kering dalam 30 hari terakhir dan peta persen kelembaban pada Gambar 4.

Monitoring Kekeringan Pertanian

Lembaga yang menyediakan informasi hasil pemantauan kekeringan dalam bentuk peta kekeringan pertanian wilayah Indonesia yang diberikan secara berkala masih sangat terbatas. Informasi tersebut disediakan dari lembaga nasional dan juga beberapa lembaga internasional. Informasi tersebut dapat diakses. Salah satu lembaga nasional yang memberikan informasi hasil monitoring kekeringan pertanian adalah LAPAN. LAPAN melakukan pemantauan dan memetakan kekeringan pertanian menggunakan data satelit penginderaan jauh sejak tahun 1980an. Data satelit lingkungan dan cuaca yang tersedia pada saat itu, memungkinkan untuk mendeteksi kehijauan lahan melalui parameter indeks vegetasi yang dapat menjadi indikasi kekeringan pertanian.

Penginderaan jauh dapat menyediakan informasi spasial yang dapat menjangkau wilayah yang luas dan informasi multi-temporal yang dapat dimanfaatkan untuk mengantisipasi kekeringan. Pemanfaatan satelit penginderaan jauh telah terbukti sangat berguna untuk memonitor penutupan vegetasi dengan siklus waktu yang tinggi dan berkesinambungan (Shofiyati *et al.* 2014). NDVI dalam bentuk seri data dari Satelit global seperti *the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) dan *National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very-High-Resolution Radiometer* (NOAA-AVHRR), telah digunakan secara luas untuk memonitor vegetasi dan ekosistem dan efektif mengidentifikasi kondisi anomali kondisi vegetasi (Reed *et al.* 1994; Jakubauskas *et al.* 2002).

Saat ini LAPAN menyediakan Sistem Informasi untuk Mitigasi Bencana (SIMBA) yang merupakan layanan informasi peringatan dini dan tanggap darurat bencana berbasis data penginderaan jauh. Informasi ini ditujukan sebagai bahan masukan bagi para pemangku kepentingan (diantaranya: Kementerian Lingkungan dan Kehutanan, Badan Nasional Penanggulangan Bencana, pemerintah daerah dll) baik di tingkat pusat maupun di tingkat daerah terkait kondisi sebelum, pada saat, dan sesudah terjadinya bencana. Periode waktu informasi yang diberikan diperbaharui secara periodik harian, 8-harian, atau bulanan. Data utama yang digunakan adalah data



Sumber : <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropeexplorer/>) diakses 20 Juni 2016

Gambar 4. Peta maksimum deret hari kering dalam 30 hari terakhir sampai tanggal 10 Juni 2016 (atas) dan peta kelembapan tanah periode 1-10 Juni 2016 (bawah)

Figure 4. Map of maximum dryspell in last 30-day untuk 10 June 2016 (above) and map of soil humidity (below)

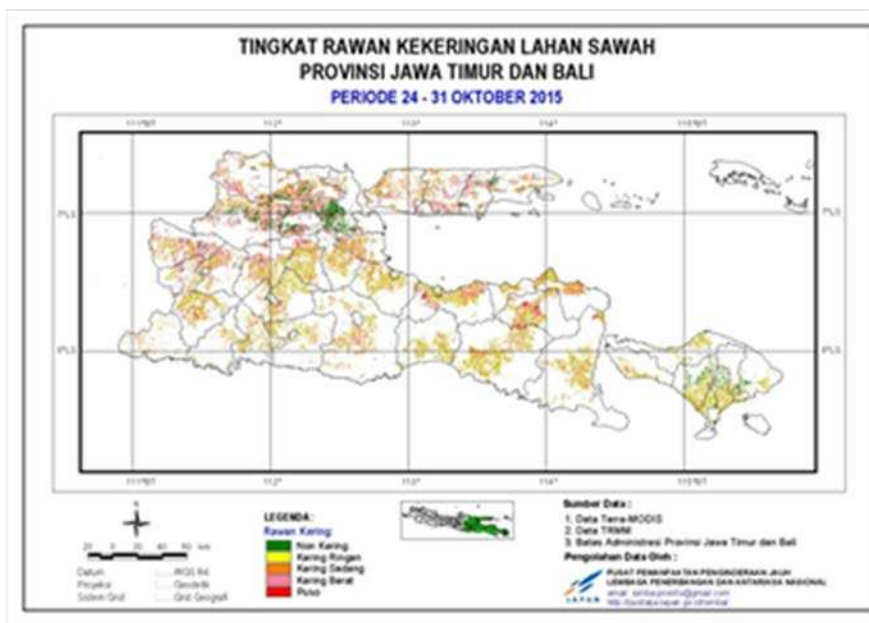
satelit MODIS, NOAA-AVHRR, MTSAT-1R, QMorph, dan TRMM. Data satelit resolusi menengah dan tinggi digunakan untuk memberikan informasi tanggap darurat bencana saat dan sesudah kejadian bencana.

Salah satu bentuk informasi yang diberikan adalah informasi potensi kekeringan di wilayah pertanian padi. Peta ini baru tersedia untuk Sumatera, Propinsi Banten dan Jawa Barat, Jawa Tengah dan DIY, serta Jawa Timur dan Bali. Untuk monitoring kekeringan data yang digunakan adalah data MODIS dan TRMM. Peta kekeringan padi yang diberikan menggambarkan kondisi sebulan sebelumnya, misalnya pada pertengahan Juni 2016, peta yang tersedia adalah periode 16-23 Mei 2016. Gambar 5 menunjukkan peta tingkat kekeringan padi Provinsi Jawa Timur periode 23-31 Oktober 2015.

Informasi kekeringan pertanian untuk berbagai negara, termasuk Indonesia juga diberikan dari data satelit NOAA-AVHRR merupakan data global dengan resolusi 4 km dan datanya diperbaharui setiap tujuh hari. Sistem yang dibangun berupa pemantauan kondisi vegetasi dengan menggunakan beberapa indeks seperti VCI, TCI, VHI, SSI, dan lainnya. Peta hasil pemantauan untuk skala global dan nasional untuk berbagai negara dapat diakses melalui alamat <http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/>.

VHI merupakan indeks yang menggambarkan kesehatan vegetasi tanpa melihat penyebabnya. Kesehatan vegetasi yang buruk dapat disebabkan oleh cekaman (stress) akibat kekeringan, banjir, atau serangan hama. VHI diestimasi menggunakan kondisi kelembaban (VCI) dan suhu (TCI). VHI banyak digunakan untuk mengestimasi kondisi tanaman dan perkiraan hasilnya. Jika nilai di bawah 40 menunjukkan kondisi tanaman yang mengalami cekaman, sehingga kehilangan hasil dapat terjadi. Sebaliknya nilai nilainya lebih dari 60, berpotensi produksi tinggi. Perbandingan kondisi VHI mutakhir per 9 Maret 2016 dengan tahun sebelumnya untuk wilayah Indonesia disajikan pada Gambar 6.

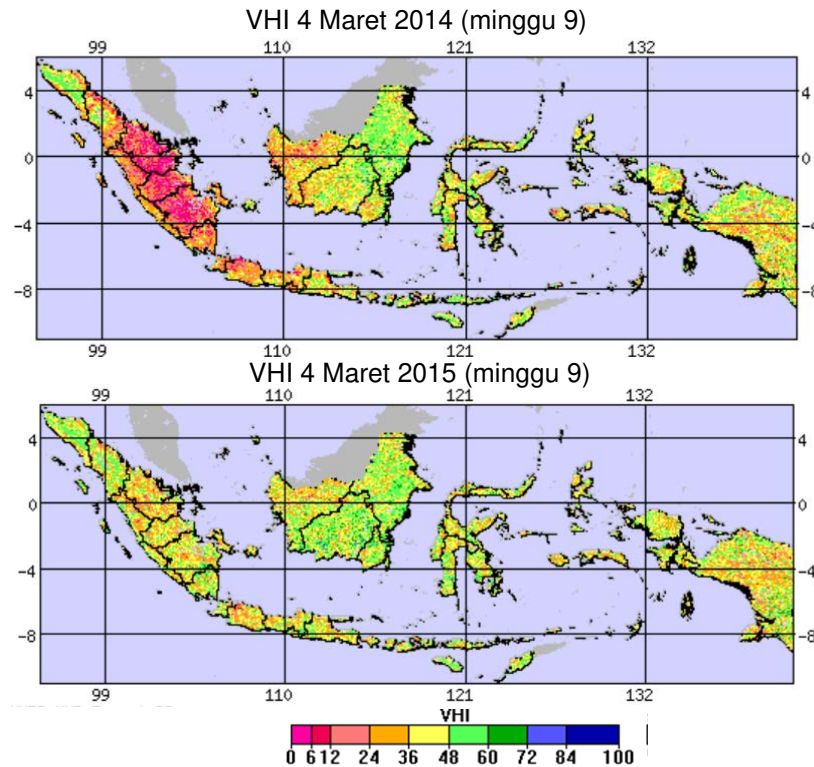
Berdasarkan nilai VHI tersebut Kogan (1987; 1990) mengklasifikasi kekeringan pertanian menjadi lima kelas (Tabel 1). Klasifikasi ini lebih sederhana daripada yang digunakan NOAA/NESDIS yang membagi menjadi sembilan kelas dengan kisaran nilai 0-100. Menurut Shofiyati berbagai indeks berbasis data satelit dapat digunakan untuk mengidentifikasi kekeringan pertanian. Namun demikian, NDVI, VHI, KBDI dapat merepresentasikan anomali curah hujan dan juga identifikasi awal kekeringan.



Sumber <http://pusfatja.lapan.go.id/simba/data/pangan.php> diakses 20 Juni 2016

Gambar 5. Peta tingkat kekeringan padi Provinsi Jawa Timur periode 23-31 Oktober 2015

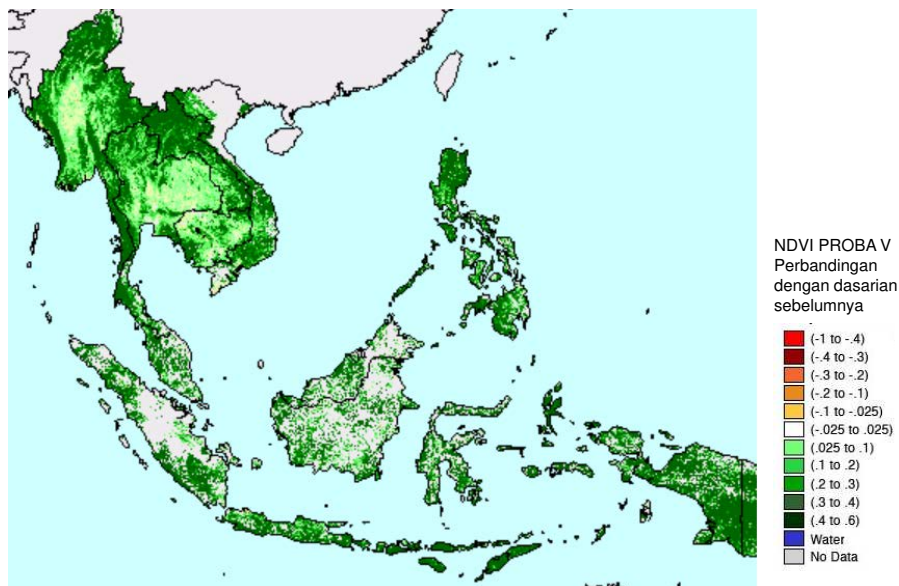
Figure 5. Map of drought of paddy-rice in East Java Province period 23-31 October 2015



Sumber : <http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/>) diakses 1 April 2016

Gambar 6. Perbandingan kondisi kesehatan vegetasi wilayah Indonesia menggunakan VHI tanggal 9 Maret 2014 (minggu 9) dibandingkan dengan tahun sebelumnya

Figure 6. *Vegetation health index of Indonesia region using VHI on 9 March 2016 (week 9) compare to the previous year*



Sumber : <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/>) diakses 8 Maret 2016

Gambar 7. Kondisi penutupan vegetasi wilayah Asia Tenggara berdasarkan perbandingan NDVI *crop masked* periode 21-28 Februari 2016 dengan dasarian sebelumnya

Figure 7. *Vegetation coverage in Southeast Asia region based on comparison NDVI crop masked period 21-28 February 2016 to previous dekad*

Tabel 1. Kelas kekeringan berdasarkan nilai VHI

Table 1. Drought criteria based on VHI

Kelas kekeringan	Kriteria
VHI \geq 40	Tidak ada kekeringan
30 > VHI \geq 40	Kekeringan ringan
20 > VHI \geq 30	Kekeringan sedang
10 > VHI \geq 20	Kekeringan berat
VHI \leq 10	Kekeringan ekstrim

Sumber: Kogan (1987)

Informasi tingkat kekeringan pertanian berbasis data satelit NOAA AVHRR juga disediakan secara rutin oleh Kementerian Pertanian Amerika Serikat. Informasi yang diberikan dalam bentuk indeks vegetasi menggunakan NDVI disediakan untuk wilayah global dan regional. Informasi untuk wilayah Indonesia diambil dari wilayah Asia Tenggara. Peta NDVI disajikan dalam bentuk informasi perbandingan terhadap 10 hari terakhir, jangka pendek dan tahun sebelumnya dan di perbarui setiap 10 hari.

MEMBANGUN SISTIM PERINGATAN DINI KEKERINGAN PERTANIAN DI INDONESIA

Dalam beberapa tahun terakhir ini, penelitian dan pemantauan kekeringan pertanian operasional yang efektif dan tepat waktu telah dikembangkan. Indeks yang beragam juga digunakan oleh berbagai negara untuk memonitor kekeringan pertanian, baik yang berbasis data observasi maupun data satelit. Namun, perkembangan sistim peringatan dini dan prediksi kekeringan pertanian masih sangat lambat dibanding bencana alam lainnya. Salah satu penyebabnya adalah kompleksnya proses terbentuk dan berakhirnya kekeringan, sehingga sulit untuk mendapatkan prediksi kekeringan yang handal. Hal ini menjadi kendala atau salah satu kekurangan dalam membangun sistim peringatan dini kekeringan.

Sistim peringatan dini kekeringan bertujuan untuk melacak, menguji dan mengirimkan informasi kondisi iklim, hidrologi, kondisi dan arah (*trend*) sumberdaya air. Sistim peringatan dini mempunyai komponen pemantauan (termasuk dampaknya) dan komponen prediksi agar dapat memberikan informasi lebih dulu atau pada awal kekeringan. Informasi kekeringan yang diberikan harus tepat waktu agar pengelolaan risiko dapat dilakukan secara cepat sehingga dapat mengurangi potensial dampak secara signifikan. Pendekatan yang terintegrasi merupakan

persyaratan paling utama dalam pemantauan bencana yang bersifat *slow onset* seperti bencana kekeringan.

Di Indonesia sistim peringatan dini dan prediksi kekeringan meteorologis sendiri belum tersedia. Kekeringan meteorologis merupakan indikator awal kekeringan, dan dapat dideteksi berdasarkan defisit curah hujan. Kekeringan hidrologis dan kekeringan pertanian merupakan manifestasi fisik dari kekeringan meteorologis. Kekeringan hidrologis dapat dideteksi dari penurunan muka air di waduk, sungai, atau danau. Namun, pengamatan kekeringan pertanian sulit dilakukan lebih awal, karena baru dapat dideteksi jauh setelah indikasi awal terjadi, yaitu setelah tanaman mengalami kerusakan, puso atau penurunan produksi pada saat panen. Namun demikian, karena kekeringan pertanian terjadi beberapa waktu setelah terjadinya kekeringan meteorologis (Boken 2005), maka kekeringan meteorologis dapat dijadikan sebagai indikator awal terjadinya kekeringan pertanian.

Sejauh ini, sistim yang baru tersedia adalah pemantauan kekeringan, baik yang dilakukan oleh lembaga nasional maupun internasional. Sistim peringatan dini seharusnya sudah mulai dibangun dan inisiasinya dapat dikembangkan dari contoh sistim peringatan dini kekeringan berbasis data satelit yang telah dibangun oleh beberapa negara lain seperti United States Drought Monitor (Svoboda *et al.* 2002), *the US Agency for International Development (USAID) Famine Early Warning System Network (FEWS Net)* (Funk 2009), *African Drought Monitor* (Sheffield *et al.* 2008), dan *the University of Washington Experimental Surface Water Monitor* (Wood dan Lettenmaier 2006; Shukla *et al.* 2011), dan *GIDMaPS drought monitoring and prediction* (Hao *et al.* 2014)

Dalam membangun peringatan dini kekeringan pertanian, komponen prediksi kekeringan meteorologis perlu dibangun terlebih dahulu. Ketersediaan data near real time yang menjadi syarat utama dalam pemantauan juga tidak menjadi kendala. Saat ini tersedia data observasi berbasis satelit yang dapat diakses hanya beberapa jam setelah saat pengamatan. Sedangkan prediksi kekeringan dibangun dengan memanfaatkan prediksi musim berbasis *Global Circulation Model (GCM)* seperti NCEP v2 atau ECMWF system 4. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan), melalui kerjasama Balai Penelitian Agroklimate dan Hidrologi dengan Institut Teknologi Bandung pada tahun 2016 mulai mengembangkan sistim prediksi kekeringan meteorologis dengan *men-downscale* prediksi keluaran NCEP v2

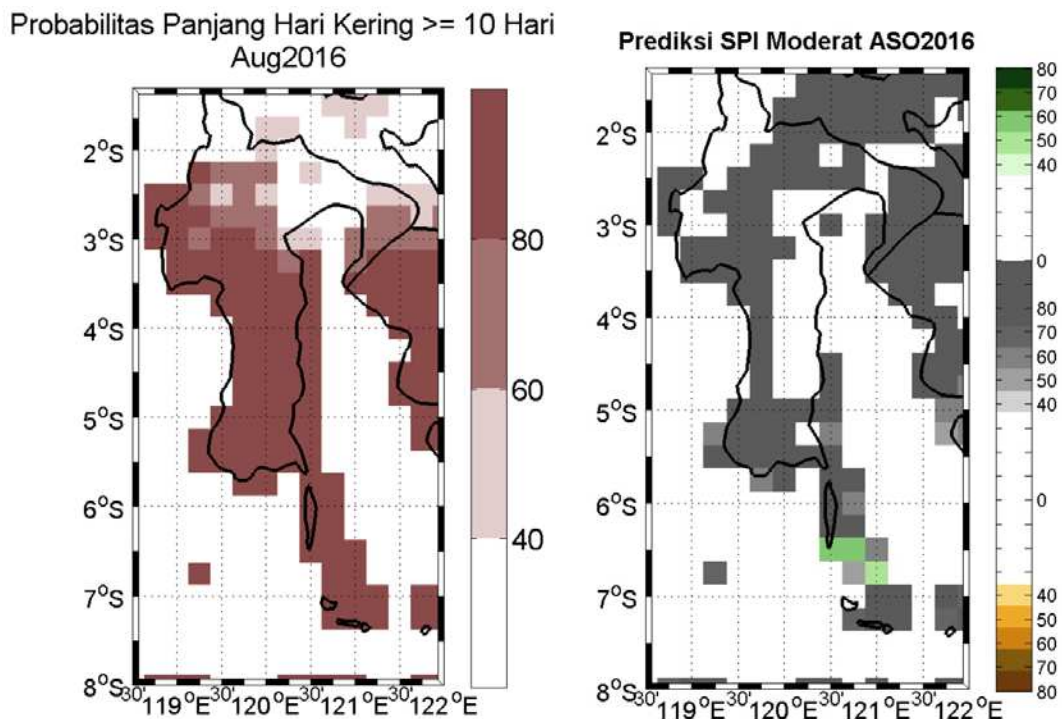
untuk seluruh wilayah Indonesia. Parameter kekeringan yang diprediksi antara deret hari kering dan SPI. Sebagai contoh prediksi deret hari kering 10 hari berturut-turut pada bulan Agustus 2016 dan SPI untuk periode Oktober sampai Desember 2016 untuk Provinsi Sulawesi Selatan yang dikeluarkan bulan Juli 2016 disajikan pada Gambar 8.

Menurut Wilhite (2009), kekeringan kekeringan baru menjadi bencana telah menimbulkan dampak pada masyarakat lokal, ekonomi, lingkungan dan kemampuan untuk beradaptasi atau pulih. Oleh karena itu prediksi kekeringan pertanian dibangun berdasarkan model dampak antara kekeringan meteorologis dengan kekeringan pertanian. Sampai saat ini baik BMKG yang melakukan pemantauan kekeringan meteorologis dan LAPAN dan kekeringan pertanian berbasis satelit belum memberikan informasi prediksi operasional. Balitbangtan mulai tahun 2015 mengembangkan sistem informasi prediksi bencana kekeringan dan banjir pada tanaman padi. Sistem informasi tersebut dikembangkan dengan membangun model antara prediksi NCEP v2 dengan data historis tanaman padi yang kekeringan dan banjir. Dalam 1-2 tahun ke depan diharapkan sistem prediksi bencana kekeringan dan banjir pada pertanian sudah dapat dioperasionalkan.

KESIMPULAN

Kekeringan pertanian merupakan bencana alam yang sangat kompleks, cukup sulit dipantau dan diprediksi. Kekeringan pertanian berdampak pada wilayah yang luas dan menyebabkan penurunan produksi pertanian yang signifikan. Dengan meningkatnya frekuensi dan tingkat keparahan dampak kekeringan di Indonesia, sistem peringatan dini kekeringan yang proaktif sangat diperlukan untuk meminimalkan dampaknya. Sistem peringatan dini yang mampu menyediakan informasi yang handal dan tepat waktu diperlukan oleh pengambil kebijakan di tingkat pusat dan daerah.

Di Indonesia, sampai saat ini komponen sistem peringatan dini kekeringan pertanian yang baru tersedia adalah pemantauan kekeringan, baik yang dilakukan oleh lembaga nasional maupun internasional. Dalam membangun peringatan dini kekeringan pertanian, komponen prediksi menjadi untuk kunci dalam pengelolaan risiko secara cepat sehingga dapat mengurangi potensial dampak secara signifikan. Ketersediaan data *near real time* dalam bentuk data observasi berbasis satelit yang dapat diakses hanya



Sumber: Surmaini *et al.* (2016)

Gambar 8. Prediksi peluang deret hari lebih 10 hari bulan Agustus 2016 (kiri) dan SPI-3 periode Agustus sampai Oktober 2016 yang dikeluarkan bulan Juli 2016

Figure 8. Prediction of consecutive 10-day dryspell in August 2016 (left) and SPI-3 for August to October 2016 released in July 2016

beberapa jam setelah saat pengamatan telah digunakan dalam pemantauan kekeringan. Sedangkan prediksi dapat dibangun dengan memanfaatkan keluaran prediksi musim berbasis GCM.

Sampai saat ini prediksi kekeringan pertanian yang operasional untuk wilayah Indonesia belum tersedia baik oleh lembaga nasional maupun internasional. Balitbangtan mulai tahun 2015 mengembangkan sistem informasi prediksi bencana kekeringan dan banjir pada tanaman padi. Sistem informasi tersebut dikembangkan dengan membangun model antara prediksi NCEP v2 dengan data historis tanaman padi yang terkena kekeringan. Untuk mengembangkan kajian tersebut menjadi sistem prediksi kekeringan pertanian yang dioperasikan memerlukan peningkatan kapasitas pemantauan, perluasan jaringan stasiun iklim otomatis, pemanfaatan data satelit dan peningkatan kapasitas jaringan internet. Internet diperlukan dalam mengakses data dan informasi serta menyebarkan informasi tersebut kepada pengambil kebijakan. Selanjutnya, sistem peringatan dini yang efektif pada gilirannya akan memberikan kontribusi untuk mencapai swasembada pangan yang berkelanjutan pada masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S.A. 2014. Tinjauan Metode deteksi parameter kekeringan berbasis data penginderaan jauh. Seminar Nasional Penginderaan Jauh.: Pengolahan Data dan Pengenalan Pola. Hlm 210-220. Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional.
- American Meteorological Society (AMS). 2004. Statement on meteorological drought. Bulletin of American Meteorology Society 85:771-773.
- Aldrian, E. dan Y.S. Djamil 2008. Spatio-temporal climatic change of rainfall in East Java Indonesia. International Journal of Climatology (28):435-448.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, dan J.P. Palutikof. 2008. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC. [http:// www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf).
- Bergman, K.H., P. Sabol, dan D. Miskus. 1988. Experimental indices for monitoring global drought conditions. Pp 190-197. In. Proc. 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, U.S. Dept. of Commerce, Cambridge, Massachusetts.
- Boken, V.K. 2005. Agricultural drought and its monitoring and prediction: some concepts. Pp 3-14. In V.K. Boken, A.P. Cracknell, R.L. Heatcote (Eds.). Monitoring and Predicting Drought in Agriculture: Global Study. Oxford University Press. New York. 580p
- Boer, R. dan A.R. Subbiah. 2005. Agriculture drought in Indonesia. Pp 330-344. In V.S. Boken, A.P. Cracknell and R.L. Heathcot (Eds.). Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study. Oxford University Press.
- Boer, R., Sutardi, dan D. Hilman. 2007. Climate Variability and Climate Change and Their Implication on Sectors. Government of Republic of Indonesia, Jakarta.
- Brown, J.F., B.D. Wardlow, T. Tadesse, M.J. Hayes, dan B. C. Reed. 2008: The vegetation drought response index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. GISci. Remote Sens. 45:16-46.
- Casanova, D., G.F. Epema, dan J. Goudriaan. 1998. Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI. Field Crop Res. 55: 83-92.
- Funk, C. 2009. New satellite observations and rainfall forecasts help provide earlier warning of African drought. The Earth Observer 21, 23-27.
- Hansen, J., M. Sato, R.Ruedy, K. Lo, D.W. Lea, dan M. Medina-Elizade. 2006. Global temperature change. In Proceeding of National Academy of Science 103: 14288-14293.
- Hewitt, K. 1997. Regions at Risk: A Geographical Introduction to Disasters. Addison-Wesley Longman, UK.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, dan L.G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment 83:195-213.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Jakubauskas, M.E., D.L. Peterson, J.H. Kastens, dan D.R. Legates. 2002. Time series remote sensing of landscape vegetation interactions in the southern Great Plains. Photogramm. Eng. Remote Sens. 68: 1021-1030.
- Kogan, F.N. 1987. Vegetation index for area analysis of crop conditions. Pp. 103-106. In Proceedings of 18th Conference on Agricultural and Forest Meteorology.
- Kogan, F.N. 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. Int. J. Remote Sens. 11:1405-1419.
- Kogan, F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Adv. Space Res. 15(11):91-100.
- Hao, Z. dan A. Agha Kouchak. 2014. A multivariate multi-index drought modeling framework. J. Hydrometeor. 1589-101.
- Hatmoko, W. Radhika, B. Raharja, D. Tollenaar, dan R. Vernimmen. 2015. Monitoring and prediction of

- hydrological drought using a drought early warning system in Pemali-Comal river basin, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 24:56-64.
- Liu, Z.Y., J.F. Huang, F.M. Wang, dan Y. Wang. 2008. Adjusted-normalized difference vegetation index for Estimating Leaf Area Index of rice. *Sci. Agric. Sin.* 41 (10):3350-3356.
- Linsely Jr., R.K., M.A Kohler, dan J.L.H. Paulhus. 1959. *Applied Hydrology*. McGraw Hill, New York.
- Meyer, S.J. and K.G. Hubbard, 1995. Extending the crop-specific drought index to soybean. Pp. 258-259. *In* Preprints, Ninth Conf. on Applied Climatology, Dallas, TX, Amer.Meteor. Soc.
- Meyer, J.L. and W.M. Pulliam. 1992. Modification of terrestrial-aquatic interactions by a changing climate. Pp 177-191. *In* P. Firth, S.G. Fisher (Eds.). *Global Climate Change and Freshwater Ecosystems*. Springer-Verlag, New York.
- Mishra, A.K. and V.R. Desai. 2006. Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati River Basin, India. *Int. J. River Basin Manage.* 3(1):31-41.
- Mishra, A., J.W. Hansen, M. Dingkuhn, C. Baron, S.B. Traore, O. Ndiaye, dan M.N. Ward 2008. Sorghum yield prediction from seasonal rainfall forecasts in Burkina Faso. *Agricultural and Forest Meteorology* 148:1798-1814.
- Mishra V., K.A. Cherkauer, dan S. Shukla. 2010. Assessment of drought due to historic climate variability and projected future climate change in the Midwestern United States. *Journal of Hydrometeorology*- 11: 46-68.
- NOAA. 2014. Satellite-Based Drought Indicators. <http://www.ncdc.noaa.gov/monitoringreferences/dyk/satellite-drought> (as of 21 March 2014).
- Palmer, W.C. 1965. *Meteorologic Drought*. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, P. 58.
- Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. *Weatherwise* 21:156-161.
- Qi, J., A.Chehbouni, A.R. Huete, Y.H. Kerr, dan S. Sorooshian. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 48:119-126.
- Reed, B.C., J.F. Brown, D. VanderZee, T.R. Loveland, J.W. Merchant, dan D.O. Ohlen. 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*. 5:703-714.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, dan D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In*: Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, Pp. 309-317.
- Sandholt, I., K. Rasmussen, dan J. Andersen. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sens. Environ.* 79: 213-224.
- Schneider, S.H. 1996. *Encyclopedia of Climate and Weather*. Oxford University Press, New York.
- Sheffield, J., E. Wood, D.P. Lettenmaier, dan Lipponen. 2008. An Experimental drought monitoring for Africa. *GEWEX News* 18:4.
- Shofiyati, R., W. Takeuchi, P. Sofan, S. Darmawan, Awaluddin, dan W. Supriatna. 2014. Indonesian drought monitoring from space. A report of SAFE activity: Assessment of drought impact on rice production in Indonesia by satellite remote sensing and dissemination with web-GIS. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 20:1-10.
- Shukla, S., A.C. Steinemann, dan D.P. Lettenmaier. 2011. Drought monitoring for Washington State: Indicators and applications. *J. Hydrometeorol.* 12: 66-83.
- Surmaini, E., T.W. Hadi, K. Subagyo, dan N.T. Puspito. 2015. Early detection of drought impact on rice paddies in Indonesia. *Theoretical and Applied Climatology* 121: 669-684.
- Surmaini, E. 2016. Sistem komunikasi dan Diseminasi Prediksi Iklim untuk Adaptasi Pertanian Menghadapi Iklim Ekstrem. Laporan Tengah Tahun. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi.
- Svoboda, M., D. Le Comte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus, dan S. Stephens. 2002: The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83(8):1181-1190.
- Tadesse, T., B.D. Wardlow, dan J.F. Brown. 2015. Assessing the vegetation condition impacts of the 2011 drought across the U.S. Southern great plains using the vegetation drought response index (VegDRI). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 54:154-168.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8:127-150.
- UN Secretariat General. 1994. *United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification, Particularly in Africa*. Paris.
- Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria, dan J.I. Lopez-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Climate* 23:1696-1718.
- Wilhite, D.A. dan M.H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10:111-120.
- Wilhite, D.A. 2000a. *Drought: A Global Assessment*, Vols. 1 and 2. Routledge, New York, 89-104, 1 and 2, Routledge, New York, Pp. 129-448.
- Wilhite, D.A. 2000b. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. Pp. 1-18. *In* D.A. Wilhite (Ed.). *Drought: A Global Assessment*, Vol. 1. Routledge, New York,
- Wood, A.W. dan D.P. Lettenmaier. 2006. A test bed for new seasonal hydrologic forecasting approaches in the western United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (87):1699-1712.

- WMO. 1986. Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974–1985, WMO, Geneva, p. 118.
- WMO. 2006. Drought monitoring and early warning: Concepts, progress and future challenges. WMO no. 1006. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Yevjevich, V. 1967. An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Drought. Hydrology Paper No. 23, Colorado State Univ. Fort Collins, Colo.
- Zubaedah, A., D. Dirgahayu. dan J.M. Pasaribu. 2014. Penginderaan jauh untuk pemantauan kekeringan lahan sawah. Widya 2(1):62-66.